

## 【補助事業概要の広報資料】

補助事業番号 27-123  
補助事業名 平成27年度 人カロボティクスの社会統合技術開発 補助事業  
補助事業者名 東京工業大学機能システム学分野

### 1 研究の概要

本研究補助事業では、JKA25年度研究補助により提唱し26年度研究補助により研究を行った、人間の運動を動力源とし伝達トルクを制御することで出力の制御を行う技術「人カロボティクス」について、そのコンセプトと基礎技術を社会的有用性の高い分野へと展開するための研究を行った。

### 2 研究の目的と背景

本提案では、この「人カロボティクス」のコンセプトと基礎技術を、社会的有用性の高い分野へと展開するための実用技術の開発を行う事を着想した。具体的には、回生クラッチの省エネルギー効果の評価と移動ロボット駆動系への応用技術開発、ロハス・モビリティの健康・環境への影響評価とそれに基づく改良、手術支援位置決めロボットへの実装と位置決め精度・有用性の評価により、本技術の社会統合に向けた基盤技術を開発することを目的とした。

### 3 研究内容

#### 人カロボティクスの社会統合技術開発

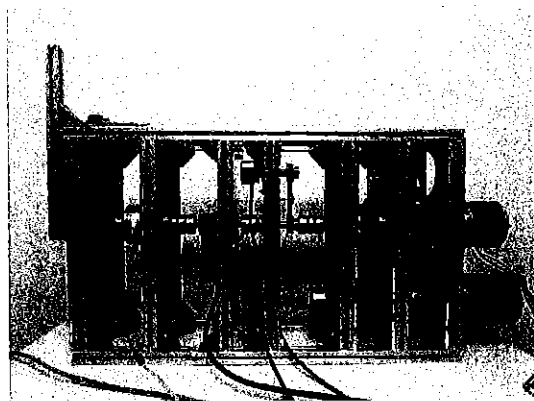
(<http://www.mech.titech.ac.jp/~msd/jp/?page=JKA27-123>)

菅原雄介（研究代表者、東京工業大学）が担当した、回生クラッチの開発に関する研究内容は以下のとおりである。

まず回生クラッチのトルク出力特性の再評価を行い、これに基づき回生クラッチの回生エネルギー評価のためのシステム設計を行った。特に試験装置を改良し、回生クラッチの回転出力時のトルク出力特性の評価を行った。出力軸を固定した状態でステップ状のトルクを出力させ特性を評価する実験を行ったところ、速やかに目標値に近いトルクを出力でき、提案する機構により回生制動トルクを制御することで出力トルクを制御できることがわかった。また、出力軸を弱く保持し回転できる状態で同様の実験を行ったところ、出力軸を回転させながらトルクを出力することができた。以上により提案する機構によりクラッチとしての基本的な機能を実現できていることが確認できた。

さらにこれを移動ロボットの駆動機構に応用すべく、以前開発したパウダクラッチを用いた人カパーソナルモビリティを改良し人カパーソナルモビリティKMM74を開発した。またこのための倒立振子式姿勢制御系を開発した。

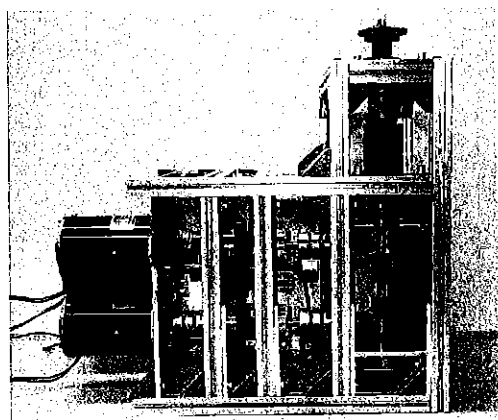
また、2セットの回生クラッチにより構成された1自由度関節機構の設計及び試作、評価実験を行った結果、出力軸へのトルク出力、出力軸の位置制御が実現できた。さらにこの機構において、回生ブレーキによって生成される回生エネルギーを用いたアシストを実現した。



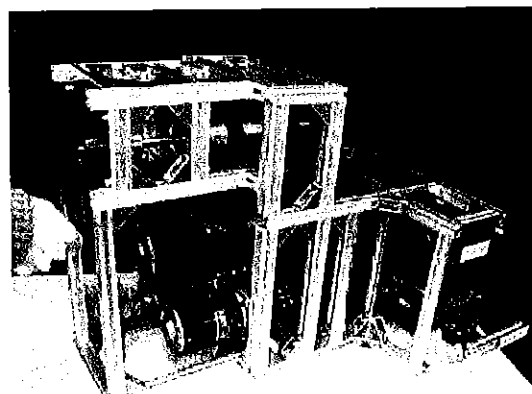
回生クラッチ評価用実験装置KRSC74R



人カパーソナルモビリティKMM74



回生クラッチを用いた人力駆動関節機構  
THR75

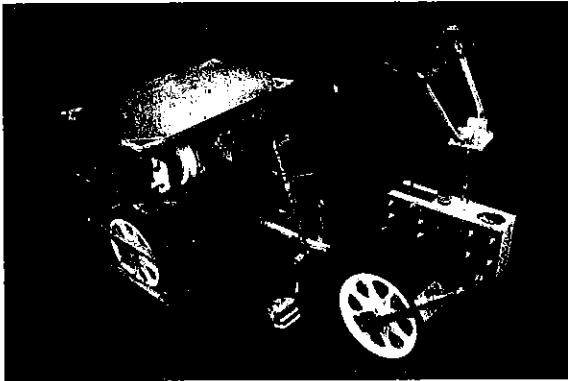


回生エネルギーによるアシスト付人力駆動関節機構THR75R

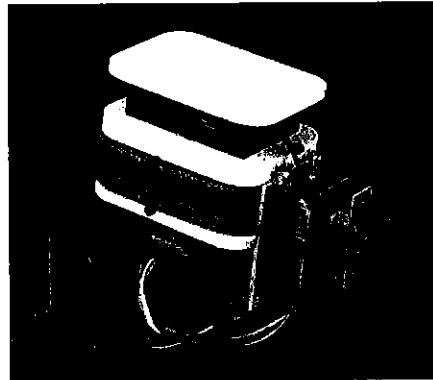
遠藤央（研究分担者、日本大学）が担当した。ロハス・モビリティに関しては、機構構成要素に基づくシステムの走行シミュレーションを構築し、シミュレーション結果に基づく再設計と製作を進めた。このシミュレーションでは人間の運動負荷を考慮している。これに基づき、あらかじめ設定した運動負荷を持続的に入力することでモビリティが走行するための制御アルゴリズムを提案し、その有効性を確認した。これにより、健康増進可能な運動を維持できる運動負荷を継続的に実現する制御パラメータの設計式を構築した。

さらにモビリティの環境への影響を最小化するため、モビリティにおけるエネルギー損失を軽減するメカニズムを提案し、実機ならびにシミュレーションへ組み込んだ。これを実際に検証し、環境負荷を最小化する制御パラメータの設計式も得た。これら結果に基づき、モビリティの改良を進め、搭乗可能なシステムとしてハードウェアを完成させた。さらにはモビ

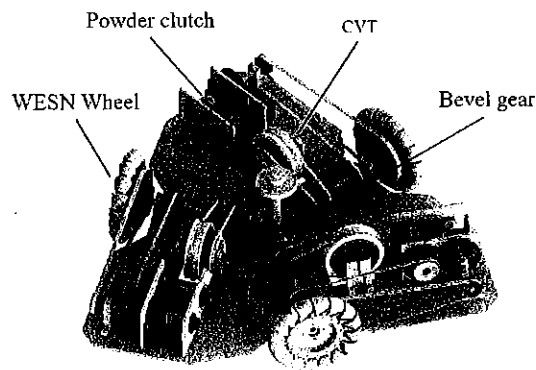
リティの応用システムとして、搬送システムを提案した。



ロハスモビリティ試作機



人力動力計測用ペダル



搬送システム用人力全方向移動モビリティ

岡本淳（研究分担者，東京女子医科大学）が担当した，手術支援位置決めロボットに関しては，H25年度補助事業で開発した，パッシブタイプ精密位置決め関節（モータの動力を直接使用せず，使用者の力（人力）で精密位置決めが可能な新機構関節）の小型軽量化を行った。この機構を用いることにより，手術現場で，超低リスクな精密位置決めを行うことができる。この機構を用い，3自由度の精密位置決め装置の設計を行った。滅菌等の実際の使用には対応していないが，基本的な動作原理の確認を行うことができる。また，臨床で使用することを想定した，術中X線装置，ナビゲーション装置から位置・姿勢情報を受け取るためのインタフェースの開発を行った。

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究の成果は，新たなる学問領域「人力ロボティクス」すなわち人力機械の知的制御のための基盤技術の一部として重要である。これは，動力を有せず人間の加える力がシステムを介して外部に出力される構造の人力機械における，ロボット技術の応用による多様な知的

能動安全技術研究のために必須の技術である。具体的には、この研究成果は、安全性・環境親和性・健康増進機能を有するパーソナルモビリティの実現、また本質安全性がシビアに求められる手術支援ロボットにおける有用な駆動機構の実現という個別の技術分野におけるイノベーションとなる。これに加えて、システムが動力を持たないため本質的に安全であり、かつ能動的にも安全でかつ多機能なシステムが構築できるという人カロボット技術の実世界における有用性と展開可能性が示され、これにより人間の住環境で稼働するロボットの実用化が現実的となり、少子高齢化・賃金高騰等の様々な社会的課題のロボット技術による解決が加速すると考えられる。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

菅原雄介はロボットシステム設計学の構築と展開をライフワークとしており、この中で「人カロボティクス」は人とロボット技術のあり方を再考する意味を持つコアとなるテーマである。

遠藤央は持続可能性をキーワードとしたロボット技術の応用に取り組んでおり、本プロジェクトは新しいロボット技術の人間の持続可能性への応用テーマである。

岡本淳は手術支援ロボットの研究開発をライフワークとしており、この中で本質的安全性を持つパッシブな位置決めが可能なロボットの実現は、手術支援ロボット工学の適用範囲を広げる意義が非常に大きい。

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

##### 【総説・解説】

1. 菅原雄介, 特集「ロボットと人カ」に寄せて, バイオメカニズム学会誌, Vol. 41, No. 2, pp. 44, 2017年5月.
2. 菅原雄介, 人カロボティクスの提案, バイオメカニズム学会誌, Vol. 41, No. 2, pp. 73-78, 2017年5月.
3. 遠藤央, 健康増進機能・環境親和性・先進安全性を併せ持つ脚漕ぎ式搭乗型移動層値「ロハス・モビリティ」の展望, バイオメカニズム学会誌, Vol. 41, No. 2, pp. 79-84, 2017年5月.

##### 【国際会議論文】

1. Yusuke Sugahara, Human-Powered Robotics - Concept and One-DOF Prototype, Proceedings of the 21st CISM IFTOMM Symposium on Robot Design, Dynamics and Control (ROMANSY2016), Udine, Italy, pp. 191-198, June 20-23, 2016.

##### 【国内会議予稿】

1. 渡邊麻友美, 射手園健斗, 遠藤央, 菅原雄介, 岡本淳, 柿崎隆夫, 人カロボティクスに基づく人と環境の持続可能性を考慮した搭乗型移動ロボットLoMo (第6報: 人カによるモビリティの走行), 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2017講演

論文集, 2A2-L05, 福島県, 2017年5月.

2. 島悠貴, 菅原雄介, 松浦大輔, 武田行生, 遠藤央, 岡本淳, 人カロボティクスの研究 (第9報, 人力関節駆動機構における回生エネルギーを用いた駆動アシスト), 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2017講演論文集, 2A2-L04, 福島県, 2017年5月.
3. 射手園健斗, 渡邊麻友美, 遠藤央, 菅原雄介, 柿崎隆夫, 武藤伸洋, 人カロボティクスを応用した足漕ぎ式自律搬送システム (搬送ロボットの機構設計), 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2017講演論文集, 2A2-L03, 福島県, 2017年5月.
4. 渡邊麻友美, 遠藤央, 菅原雄介, 岡本淳, 柿崎隆夫, 人カロボティクスに基づく人と環境の持続可能性を考慮した搭乗型移動ロボットLoMo-第5報, 入力動力計測デバイス-, 第17回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, pp. 2028-2032, 北海道, 2016年12月.
5. 射手園健斗, 渡邊麻友美, 遠藤央, 菅原雄介, 柿崎隆夫, 人カロボティクスを応用した自律搬送システム-人力駆動自律搬送ロボットのコンセプト-, 第17回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, pp. 554-557, 北海道, 2016年12月.
6. 渡邊麻友美, 遠藤央, 菅原雄介, 岡本淳, 柿崎隆夫, 人カロボティクスに基づく人と環境の持続可能性を考慮した搭乗型移動ロボット, 日本大学工学部第59回学術研究報告会, 機-2-9, 福島県, 2016年12月.
7. 射手園健斗, 遠藤央, 菅原雄介, 柿崎隆夫, 人カロボティクスに基づく足こぎ型搬送ロボットの移動機構の設計, 日本大学工学部第59回学術研究報告会, 機-2-8, 福島県, 2016年12月.
8. 菊井健介, 菅原雄介, 松浦大輔, 武田行生, 遠藤央, 岡本淳, 人カロボティクスの研究 (第8報, 回生クラッチを用いた人力関節駆動機構の試作), 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2016, 2A2-14b1, 神奈川県, 2016年6月.
9. 渡邊麻友美, 遠藤央, 菅原雄介, 岡本淳, 柿崎隆夫, 人カロボティクスに基づく人と環境の持続可能性を考慮した搭乗型ロボットLoMo (第4報: 人力エネルギー回生システムを有するロボットの機構設計), 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2016, 2A1-14b5, 神奈川県, 2016年6月.
10. 菅原雄介, 遠藤央, 岡本淳, 松浦大輔, 武田行生, 人カロボティクスの研究 (第7報, 回生サーボクラッチの動作実験), 第21回ロボティクスシンポジウム予稿集, pp. 439-444, 長崎県, 2016年3月.
11. 秋山勇人, ジェレミージョン, 菅原雄介, 本田康裕, 遠藤央, 岡本淳, 人カロボティクスの研究 (第6報, 人カパーソナルモビリティの倒立振子制御), 日本機械学会関東支部第22期総会・講演会, 0S1205, 東京都, 2016年3月.
12. 渡邊麻友美, 遠藤央, 菅原雄介, 岡本淳, 柿崎隆夫, 人カロボティクスに基づく搭乗型移動支援ロボットで用いるパウダクラッチの特性試験, 日本大学工学部第58回学術研究

報告会, 2015年12月.

13. 渡邊麻友美, 遠藤央, 菅原雄介, 岡本淳, 柿崎隆夫, 人カロボティクスに基づく搭乗型移動支援ロボットで用いるパウダクラッチの特性試験とモデル化, 第16回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, pp. 1423-1428, 愛知県, 2015年12月.
14. Jeremy JONG, 秋山勇人, 福山和隆, 菅原雄介, 本田康裕, 遠藤央, 岡本淳, 人カロボティクスの研究 (第5報, 人カパーソナルモビリティの改良設計), 第16回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, pp. 289-292, 愛知県, 2015年12月.
15. 菅原雄介, 遠藤央, 岡本淳, 人カロボティクスの研究 (第4報, 回生サーボクラッチの試作), 第33回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3D2-06, 東京都, 2015年9月.
16. 菅原雄介, 山内慎也, 遠藤央, 岡本淳, 人カロボティクスの研究 (第3報, 回生ブレーキを用いたサーボクラッチ機構の提案), 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015, 1P1-B02, 京都府, 2015年5月.

【招待講演】

1. Yusuke Sugahara, Design of Robotic Mobility Aid Systems, 2017 Invited Lecture of IPS, Graduate School of Information, Production and Systems, Waseda University, Fukuoka, Jan. 2017.
2. 菅原雄介, 「人カロボティクスの展開」, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門東北地区特別講演会「ヒトとロボティクス」, 宮城県, 2016年9月.
3. 菅原雄介, 遠藤央, 岡本淳, 松浦大輔, 武田行生, 「人カロボティクスの提案」, 日本機械学会2016年度年次大会機素潤滑設計部門企画先端技術フォーラム「常識にとらわれない機構の応用」, F112003, 福岡県, 2016年9月.

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

無し

(2) (1) 以外で当事業において作成したもの

前述の発表論文等

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 東京工業大学

(トウキョウコウギョウダイガク)

住 所: 〒152-8552

東京都目黒区大岡山2-12-1 (i6-15)

申 請 者: 准教授 菅原雄介 (スガハラユウスケ)

担 当 部 署: 工学院 機械系 機能システム学分野

(コウガクイン キカイケイ キノウシステムガクブンヤ)

E-mail : [sugahara@mech.titech.ac.jp](mailto:sugahara@mech.titech.ac.jp)

URL : <http://www.mech.titech.ac.jp/~msd/jp/>